

KẾT QUẢ THI CÔNG MÔ HÌNH ĐẬP BỜ BAO BẰNG ĐẤT Bùn CỨNG HÓA THAY THẾ CÁT TẠI TỈNH CÀ MAU

Nguyễn Tiếp Tân

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Ngô Anh Quân, Đỗ Viết Thắng

Viện Thủy công

Nguyễn Quang Phú

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Bài báo công bố kết quả nghiên cứu mô hình sử dụng đất bùn cứng hóa thay thế đất cát vào thi công đắp đê bao, bờ bao. Đề tài nghiên cứu sử dụng hỗn hợp chất kết dính bao gồm xi măng, tro bay, xỉ lò cao và thạch cao để cứng hóa đất bùn nạo vét tại Đồng bằng sông Cửu Long làm vật liệu thay thế đất cát đắp đê bao, bờ bao là rất cần thiết tại những vùng xây dựng khan hiếm đất đắp hay cát tự nhiên. Đất bùn cứng hóa có chỉ tiêu tương đương với đất ở trạng thái dẻo cứng ($0,25 < I_L \leq 0,5$; $C_{tc} = 0,32 \div 0,57 \text{ kG/cm}^2$ và $\phi = 11^\circ \div 18^\circ$), đáp ứng yêu cầu kỹ thuật để thay thế đất cát đắp đê bao, bờ bao. Đất bùn cứng hóa đã tăng được cường độ kháng nén, tăng mô đun đàn hồi và tăng các chỉ tiêu cơ lý của nền đất đắp. Kết quả nghiên cứu mở ra khả năng ứng dụng công nghệ cứng hóa đất bùn để đắp đê bao, bờ bao thay thế cát tại Cà Mau nói riêng và Đồng bằng sông Cửu Long nói chung.

Từ khóa: Xi măng; xỉ lò cao hoạt tính; tro bay; thạch cao; đất bùn cứng hóa.

Summary: The article publishes the results of research on the model of using stabilized dredging soil to replace sand in construction of dikes and embankments. The research topic of using a binder mixtures including Cement, Fly Ash (FA), Ground Blast Furnance Slag (GBFS) and Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) to harden dredged soil and mud in the Mekong Delta as a replacement material for sandy soil to construction of dikes and embankments, that is very necessary in construction areas where fill soil or natural sand is scarce. The stabilized dredging soil has criteria equivalent to soil in the hard plastic state ($0,25 < I_L \leq 0,5$; $C_{tc} = 0,32 \div 0,57 \text{ kG/cm}^2$ and $\phi = 11^\circ \div 18^\circ$), meeting the requirements technical bridge to replace sandy soil to build dikes and embankments. The stabilized dredging soil has increased compressive resistance, increased elastic modulus and increased physical and mechanical properties of the embankment. The research results open up the possibility of applying dredged mud hardening technology to build dikes and embankments to replace sand in Ca Mau in particular and the Mekong Delta in general.

Keywords: Cement; Ground Blast Furnance Slag; Fly ash; Gypsum; Stabilized dredging soil.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hàng năm, ở Việt Nam công tác nạo vét khơi thông luồng lạch giao thông thủy, khu nuôi trồng thủy sản, kênh rạch thủy lợi..... với lượng bùn nạo vét rất lớn. Các chủ đầu tư và đơn vị thi công thường chọn giải pháp đổ thải ra các bãi chứa, lãng phí mặt bằng và gây ô nhiễm môi trường. Trong khi đó, đất bùn này có thể tái sử dụng thành nguồn vật liệu san lấp có ích, làm tăng nguồn vật liệu san nền tại chỗ, đảm bảo nguồn cung ứng vật liệu cho các công trình

xây dựng. Từ đó, có thể giảm giá thành xây dựng và góp phần bảo vệ môi trường.

Để tái sử dụng đất bùn nạo vét thải ra vào mục đích xây dựng, thì cần có giải pháp cải thiện chỉ tiêu cơ lý đất bùn. Cứng hóa đất bùn thải là giải pháp sử dụng các chất phụ gia trộn với đất bùn để nâng cao các chỉ tiêu cơ lý của chúng đủ đáp ứng điều kiện xây dựng công trình. Nghiên cứu cứng hóa đất bùn làm vật liệu thay thế cát san lấp nền và đắp bờ bao là rất cần thiết [1, 2, 3, 4, 5]. Nghiên cứu này không những có giá trị khoa học mà còn

Ngày nhận bài: 09/10/2024

Ngày thông qua phản biện: 05/11/2024

Ngày duyệt đăng: 26/11/2024

có ý nghĩa kinh tế xã hội rất lớn, góp phần phòng chống xói lở tại vùng ĐBSCL.

Đề tài nghiên cứu sử dụng các chất kết dính gồm xi măng, kết hợp với phụ gia khoáng hoạt tính (*tro bay và xỉ lò cao*) và một số hợp chất hóa học khác nhau để cứng hóa đất bùn nạo vét tại tỉnh Cà Mau thuộc Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Thông qua thí nghiệm, xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa đáp ứng được yêu cầu trong san lấp nền, đắp bờ bao, đê bao thay thế cát. Kết quả thí nghiệm trong phòng đã được triển khai thi công thực tiễn trên mô hình: Công trình “*xây dựng mô hình sử dụng bùn cứng hóa thay thế cát cho 500m bờ bao*” thuộc ấp 7, xã Khánh An, huyện U Minh, tỉnh Cà Mau. Kết quả thí nghiệm xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa tại hiện trường, từ đó đánh giá để lựa chọn giải pháp thi công phù hợp.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH

2.1. Xi măng: Đề tài sử dụng xi măng PCB40 Hà Tiên để thiết kế và thi công mô hình, kết quả thí nghiệm một số tính chất của xi măng đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009 [6].

2.2. Xỉ lò cao hoạt tính: Trong đề tài sử dụng xỉ lò cao hoạt tính nghiên cứu mìn Hòa Phát có chỉ số hoạt tính cường độ ở tuổi 28 ngày đạt 96%; thành phần hóa học và các chỉ tiêu cơ lý thỏa mãn TCVN 11586:2016 [7] và BS EN 15167-1:2006 [8].

2.3. Tro bay: Phụ gia khoáng tro bay của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1 được sử dụng trong nghiên cứu. Kết quả thí nghiệm một số tính chất của tro bay đạt yêu cầu theo TCVN1032:2014 [9].

2.4. Thạch cao: Đề tài đã lựa chọn mẫu thạch cao công nghiệp do công ty hóa chất Vietchem cung cấp. Thạch cao đóng vai trò vừa là tác nhân hấp thụ nước trong đất bùn, giúp cho bùn nhanh cô đặc. Mặt khác, thạch cao tham gia vào quá trình phản ứng với sản phẩm thủy hóa của xi măng, kết hợp với các thành phần khoáng vật khác làm cho bùn nhanh đông cứng. Kết quả thí nghiệm các tính chất của thạch cao theo tiêu chuẩn TCVN 9807:2013 [10], đạt mức chất lượng thuộc loại GN90 được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1: Kết quả thí nghiệm các tính chất của thạch cao

TT	Các chỉ tiêu	Kết quả thí nghiệm
1	Hàm lượng sunfua trioxit (SO_3), %, không nhỏ hơn	42,27
2	Hàm lượng $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, %, không nhỏ hơn	92,93
3	Độ ẩm, %	0,86

2.5. Đất bùn: Mô hình được xây dựng tại xã Khánh An, huyện U Minh, Cà Mau. Đây là khu vực nằm sát sông Ông Đốc, từ vị trí xây dựng công trình ra đến biển Tây dọc theo sông Ông Đốc khoảng 40 km. Vùng này là nước lợ nên trong cấp phối chất kết dính sẽ dùng cho mô hình, đề tài sử dụng với dạng *công trình nước*

lợ (bùn nước lợ). Tính chất cơ lý gồm độ ẩm tự nhiên, khối lượng tự nhiên, khối lượng riêng của bùn khô, các chỉ tiêu Atterberg (giới hạn chảy, giới hạn dẻo, độ sệt), chỉ tiêu lực học (góc ma sát trong, lực dính) của mẫu bùn nước lợ thí nghiệm cứng hóa được trình bày trong bảng 2 [11, 12, 13, 14, 15].

Bảng 2: Chỉ tiêu cơ lý của mẫu bùn thí nghiệm

Ký hiệu mẫu	Độ ẩm tự nhiên	Khối lượng thể tích tự nhiên	Khối lượng riêng	Giới hạn Atterberg			Chỉ tiêu lực học		Ký hiệu
				Giới hạn chảy	Giới hạn dẻo	Độ sệt	Góc ma sát trong	Lực dính	
				W_L	W_p	I_L	φ	C	
	W	γ_w	ρ_s	W_L	W_p	I_L	φ	C	
	%	g/cm^3	g/cm^3	%	%		độ	kPa	
Bùn nước lợ	82.2	1.47	2.53	72.0	41.8	1.38	2 ⁰ 39'	14.0	BL

3. CÁC CHỈ TIÊU THIẾT KẾ

3.1. Cấp công trình

Theo TCVN 9902:2016 “*Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê sông*”, cấp công trình bờ bao, đê bao lựa chọn từ cấp xác định theo tiêu chí về số dân và diện tích được bảo vệ hoặc tiêu chí về độ ngập sâu trung bình của các khu dân cư so với mực nước thiết kế đê:

- Theo tiêu chí về số dân và diện tích được bảo vệ: Đê bao có diện tích được bảo vệ <4000ha và số dân được bảo vệ dưới 10.000 người thuộc công trình cấp V.

- Theo tiêu chí về độ ngập sâu trung bình của các khu dân cư so với mức nước thiết kế đê từ 1,0 đến 2,0m: thuộc công trình cấp IV.

Vậy cấp của công trình là cấp IV.

3.2. Các chỉ tiêu thiết kế

- Tần suất lưu lượng lũ lớn nhất thiết kế $P = 2\%$; kiểm tra $P = 1\%$

- Hệ số an toàn ổn định với các tổ hợp lực và tải trọng:

+ Tổ hợp cơ bản: $[K] = 1,20$

+ Tổ hợp đặc biệt: $[K] = 1,10$

- Gia tốc nền: Theo TCVN 9386-2012: Huyện U Minh $a = 0.0068$

- Cấp động đất: Cấp 7.

3.3. Địa chất công trình

Căn cứ vào tài liệu thu thập được trong quá trình khảo sát địa chất công trình ngoài thực địa, kết hợp với các kết quả thí nghiệm trong phòng, có thể phân chia cấu trúc địa tầng của khu vực khảo sát theo các lớp từ trên xuống dưới như sau:

* **Lớp 1:** Từ 0÷1.0m là Lớp đất san lấp, thành

phần hỗn tạp gồm sét pha xám đen, xám tro lẫn chất hữu cơ.

* **Lớp 2:** Từ 1.0÷19m là Lớp bùn sét màu xám, trạng thái chảy đến dẻo chảy.

* **Lớp 3:** Từ 19m trở xuống là đất sét, trạng thái nửa cứng, hoặc cát pha chặt vừa.

3.4. Địa hình công trình

Khối lượng đo vẽ tính toán và nghiệm thu như sau:

* Dẫn thủy chuẩn hạng IV: Cập nhật dự án

* Dẫn chuẩn kỹ thuật: 1000m/1000 = 1 km

* Tổng số mặt cắt thực đo = 20 mặt cắt

* Bề rộng đo vẽ trên cạn: 30 m

* Khối lượng tính toán cắt ngang: Trên cạn: (20 x 30) = 600 m.

* Khối lượng tính toán bình đồ: Trên cạn: (đọc 500m x 30m ngang)/10.000=1,5 ha

* Khối lượng cắt dọc: 500m.

* Không chế đường chuyển cấp II: 8 điểm

4. ÁP DỤNG KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THI CÔNG MÔ HÌNH ĐẬP BỜ BAO

Công trình “*xây dựng mô hình sử dụng bùn cứng hóa thay thế cát cho 500m bờ bao*” thuộc ấp 7, xã Khánh An, huyện U Minh, tỉnh Cà Mau, đây là khu vực nằm sát sông Ông Đốc, vùng này là nước lợ nên trong cấp phối chất kết dính sẽ dùng cho mô hình, đề tài sử dụng với dạng **công trình nước lợ (bùn nước lợ)**.

Xã Khánh An nằm ở phía nam của huyện U Minh, bên bờ sông Ông Đốc, cách thành phố Cà Mau 14km, có vị trí địa lý như sau: Phía bắc giáp xã Nguyễn Phích. Phía đông giáp huyện Trần Văn Thời, Cà Mau. Phía nam giáp huyện Trần Văn Thời, Cà Mau. Phía tây giáp huyện Trần Văn Thời và xã Khánh Lâm.



Hình 1: Khu vực xây dựng mô hình sử dụng bùn cứng hóa thay thế cát đắp bờ bao ở Cà Mau

4.1. Quy mô công trình

a. Kết cấu chung bờ bao:

- Cao trình đỉnh bờ bao: +2,20
- Chiều rộng đỉnh bờ bao: $B = 5\text{m}$.
- Cấu tạo đỉnh bờ bao: Đỉnh bờ bao là lớp cấp phối đá dăm kẹp đất dày 9cm bề rộng 4m làm đường đi lại cho người dân. Để đảm bảo thoát nước trên đỉnh, mặt bờ bao dốc nghiêng về phía thượng hạ lưu với độ dốc $i = 2\%$.

- Mái thượng lưu: $m_{tl} = 2,0$

- Mái hạ lưu: $m_{hl} = 2,0$

b. Mặt bằng:

+ Mặt bằng tuyến bám sát tuyến bờ bao cũ, trên toàn tuyến bám sát đường BTXM cũ, một số đoạn cục bộ dời tim đường về bên trái hoặc bên phải để tránh đắp lấn mái dốc xuống bãi sông hoặc lấn cục bộ các đoạn đường cũ gấp khúc cho xe chạy êm thuận.

c. Trắc ngang đường:

- Trên đường thẳng, kích thước mặt đường, lề đường, dốc ngang theo yêu cầu chung:
- + Mặt đường đá dăm kẹp đất rộng 4m, dày 9cm, dốc ngang 2%.
- + Lề đường đất: $2 \times 0,50\text{m}$, dốc ngang 2%.
- + Mái dốc nền đắp 2 bên (trong dòng và ngoài sông): $m = 2,0$

- Trong đường cong nằm:

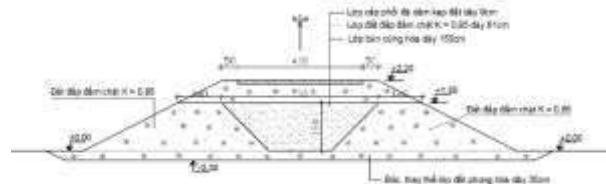
+ Giữ nguyên kích thước mặt đường và lề đường (không mở rộng mặt đường trong đường cong).

+ Không bố trí siêu cao trên tất cả các đường cong.

d. Trắc dọc đường: Cao độ tim đường thiết kế thống nhất toàn tuyến bằng cao trình đỉnh bờ bao: +2.20 m

e. Đắp khuôn đường (mái bờ bao): Sử dụng đất khai thác tại chỗ để đắp lề đường, mái dốc nền đường (mái bờ bao), độ chặt nền đắp yêu cầu $k \geq 0,85$

4.2. Thiết kế mặt cắt ngang đại diện



Hình 2: Bản vẽ mặt cắt ngang đại diện bờ bao thiết kế

*** Kiến nghị áp dụng cho thi công:** Với những đặc điểm về điều kiện địa hình, địa chất điều tra khảo sát được tại khu vực xây dựng công trình kết hợp với đặc điểm về quy mô tài trọng, tính chất của hạng mục trong công trình, nhóm tác giả thực hiện đề tài kiến nghị như sau:

- (1). Trước khi tiến hành xây dựng cần tạo mặt bằng sạch để cho quá trình thi công đảm bảo an toàn, hiệu quả.
- (2). Kiến nghị sử dụng cấp phối cho 1m^3 bùn nước lợ thuộc tỉnh Cà Mau như bảng 3.
- (3). Trong quá trình tổ chức thi công cần đối chiếu với thực tế để có thể điều chỉnh lại tỷ lệ cấp phối phụ gia, đảm bảo tính bền vững của công trình cũng như hiệu quả kinh tế - xã hội.

Bảng 3: Cấp phối kiến nghị sử dụng cho thi công mô hình

Cấp phối	Xi măng (%)	Xi lò cao (%)	Tro bay (%)	Thạch cao (%)
T46	4,6	2,5	1,0	0,5

*** Yêu cầu kỹ thuật thi công của mô hình:**

- Công tác xác định vị trí thi công trên thực địa

được thực hiện bằng máy toàn đạc điện tử kết hợp với thước thép để xác định và dùng cọc tre đóng xuống nền hiện trạng để đánh dấu các vị trí.

- Sử dụng máy đào kết hợp các thiết bị cơ giới khác tiến hành đào bỏ lớp đất hữu cơ đổ thành đống. Đất hữu cơ được đào bỏ hết khỏi phạm vi san lấp. Trong quá trình thi công nếu nước mặt nhiều thì phải tiến hành bơm hút cạn nước ra khỏi phạm vi thi công. Các đống đất hữu cơ này được máy đào xúc lên phương tiện vận chuyển và ô tô vận chuyển đến bãi thải.

- Tiến hành nghiệm thu bóc lớp đất hữu cơ, bao gồm: cao độ, kích thước hình học.

- Đất bùn được vận chuyển vào khuôn san lấp

bằng bơm.

- Tiến hành cứng hóa bùn bằng các phụ gia theo thiết kế. Trong quá trình trộn (cứng hóa) nếu độ ẩm bùn nào vết bị khô cần sử dụng bơm nước để tưới ẩm đất đảm bảo độ ẩm tối ưu. Quá trình trên được tiến hành lặp đi lặp lại và được thi công đến cao độ thiết kế.

- Đơn vị thi công cần bảo vệ nền mặt bằng san lấp khỏi bị hư hại bằng cách thi hành các biện pháp bảo vệ đảm bảo bề mặt luôn được giữ trong điều kiện sẵn sàng thoát nước.

4.3. Công tác tổ chức thi công xây dựng mô hình

1. Bước 1: Chuẩn bị máy thi công và các thiết bị đi kèm phục vụ thi công.



2. Bước 2: Chuẩn bị các vật liệu và phụ gia để cứng hóa bùn.



3. Bước 3: Chuẩn bị máy trộn phụ gia tùy thuộc vào khối lượng cứng hóa từng đoạn bờ bao để lựa chọn thiết bị phụ trợ phù hợp.





4. Bước 4: Xác định mặt bằng, tiến hành dọn dẹp mặt bằng, GPMB thi công.



5. Bước 5: Đào đắp khuôn đê bao.





6. Bước 6: Lắp đặt máy bơm bùn đặt trên xà lan và hệ thống đường ống bơm bùn vào khuôn tuyến bờ bao.



7. Bước 7: Tiến hành thoát nước mặt chuẩn bị thi công cứng hóa.



8. Bước 8: Trộn các vật liệu, phụ gia dùng để cứng hóa bùn nạo vét theo tỷ lệ thiết kế.



9. Bước 9: Rải phụ gia cứng hóa vào mặt bằng mô hình cứng hóa đã chuẩn bị trước.



10. Bước 10: Sử dụng thiết bị trộn có gắn gầu múc cải tiến của Viện Thủy công để trộn (bùn + phụ gia cứng hóa). Thi công theo các ô đã phân chia tùy thuộc vào sắp xếp thi công tại hiện trường.



11. Bước 11. Theo dõi, khoan lấy mẫu kiểm tra chất lượng công trình.



12. Bước 12. Tạo phẳng, thi công lớp mặt và hoàn thiện công trình.



5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm một số cấp phối vật liệu thiết kế cứng hóa đất bùn nạo vét thuộc ĐBSCL, đề tài đã lựa chọn được cấp phối vật liệu hợp lý để thi công: Công trình “*xây dựng mô hình sử dụng bùn cứng hóa thay thế cát cho 500m bờ bao*” thuộc ấp 7, xã Khánh An, huyện U Minh, tỉnh Cà Mau, qua đó đánh giá cụ thể nhất về tác dụng của phụ gia cứng hóa đất bùn nạo vét đối với khả năng gắn kết các

loại vật dạng hạt (cát, sét, bùn...) khi đánh giá chất lượng bùn cứng hóa trong các công trình san lấp mặt bằng, đắp bờ bao, đê bao.

Cường độ của lớp bùn cứng hóa sử dụng trong đắp bờ bao, đê bao thực tế có thể thấp hơn kết quả thí nghiệm trong phòng kiểm tra, điều này có thể do điều kiện thi công, khả năng trộn đều các vật liệu phụ gia và bùn trong quá trình thi công, lượng nước trong hỗn hợp (độ ẩm), Tuy nhiên, tất cả các kiểm tra hiện trường vẫn

đảm bảo yêu cầu đề ra của đề tài là sử dụng bùn cứng hóa thay thế cát trong đắp bờ bao, đê bao và tương đương với đất trạng thái dẻo cứng ($0,25 < I_L \leq 0,5$; $C_{tc} = 0,32 \div 0,57 \text{ kG/cm}^2$ và $\varphi = 11^\circ \div 18^\circ$).

Kết quả thực nghiệm trong phòng kiểm tra các chỉ tiêu của bùn cứng hóa sử dụng trong đắp bờ bao, đê bao tại mô hình thử nghiệm cho thấy: Hỗn hợp vật liệu đã tăng được cường độ kháng nén, tăng mô đun đàn hồi, các chỉ tiêu cơ lý của nền san lấp. Kết quả này mở ra khả năng ứng dụng công nghệ **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

cứng hóa đất bùn nạo vét để sử dụng trong san lấp mặt bằng, đắp bờ bao, đê bao thay thế cát tại Cà Mau nói riêng và ĐBSCL nói chung.

LỜI CẢM ƠN:

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của đề tài Khoa học và công nghệ: “Nghiên cứu công nghệ cứng hóa đất bùn nạo vét để sử dụng trong san lấp mặt bằng thay thế cát”, Mã số ĐTĐL.CN-33/19.

- [1] D. N. Little and N. Syam, “Introduction to Soil Stabilization, Understanding the Basics of Soil Stabilization : An Overview of Materials and Techniques,” *Caterpillar*, vol. 7, no. January, pp. 1-16, 2006.
- [2] D. Wang, N. E. Abriak, and R. Zentar, “Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash,” *Eng. Geol.*, vol. 166, pp. 90-99, 2013.
- [3] Huang Y. và Lin Z.S. (2010). Investigation on phosphogypsum-steel slag-granulated blast-furnace slag-limestone cement. *Construction and Building Materials*, 24, 1296-1301
- [4] Hadi M.N.S., Farhan N.A., và Sheikh M.N. (2017). Design of geopolymers concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 140, 424-431
- [5] L. Yu and M. Djunaidy, “A Vacuum Consolidation Method Application Case for Improving Dredging Slurry”.
- [6] TCVN 6260:2009, Xi măng Pooc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật.
- [7] TCVN 11586:2016, Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.
- [8] BS EN 15167-1:2006, Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout Definitions, specifications and conformity criteria.
- [9] TCVN 1032:2014, Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.
- [10] TCVN 9807:2013, Thạch cao dùng để sản xuất xi măng.
- [11] TCVN 4199:1995, Đất xây dựng - Phương pháp xác định sức chống cắt trong phòng thí nghiệm ở máy cắt phẳng.
- [12] TCVN 4196:2012, Đất xây dựng - Phương pháp xác định độ ẩm và độ hút ẩm trong phòng thí nghiệm.
- [13] TCVN 4197:2012, Đất xây dựng - Phương pháp xác định giới hạn dẻo và giới hạn chảy trong phòng thí nghiệm.
- [14] TCVN 4198:2014, Đất xây dựng - Phương pháp xác định thành phần hạt trong phòng thí nghiệm
- [15] TCVN 4195 -2012, Đất xây dựng - Phương pháp xác định khối lượng riêng trong phòng thí nghiệm